บุญวงศ์ ไทยอุตส่าห์, สันต์ เกตุปราณีต, ประคอง อินทรจันทร์ และสุนันทา ขจรศรีชล. ๒๕๓๑. ระบบวนเกษตร : กรณีจังหวัดลำปาง. รายงานผลการศึกษาโครงการนำร่องเพื่อจัดระบบการบริหารและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมระดับจังหวัด เสนอต่อสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ๙๙ หน้า

วสันต์ ญาณวุฒิ. ๒๕๒๗. การปลูกป่าเพื่อประเทศไทย. บริษัทวนาแม่โจ้ ๒๘ จำกัด. เชียงใหม่.

ศูนย์สถิติการเกษตร. ๒๕๓๑. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีเพาะปลูก ๒๕๒๙/๒๕๓๐. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพ ฯ. ๒๗๖ หน้า

Thai J. For. 8 : 171-190 (1989) วารสารวนศาสตร์ ๘ : ๑๗๑-๑๙๐ (๒๕๓๒)

การศึกษาเบื้องต้นของการทำเยื่อกระดาษโดยวิธีซัลเฟตจากไผ่เพ็ด

A PRELIMINARY STUDY ON SULFATE PULPING OF BAMBOO GRASS

ปรีชา	เกียรติกระจาย[๑]	Preecha	Kiatgrajai
ประเทือง	พุฒซ้อน[๑]	Pratuang	Puthson
วีณา	อิชะโรจน์[๒]	Weena	Icharoj

ABSTRACT

Sulfate pulping of bamboo grass, *Arundinaria pusilla*, was made from 2 to 5 mm stem diameter. The sample was taken from Sakaerat Environmental Research Station in Nakhon Ratchasima province. The pulping condition were 12—16% active alkali, 25% sulfidity, 4 : 1 liquor to wood ratio, and 30 to 90 minutes for cooking time at 170°C.

The pulping yield, kappa No. and refining energy depended on amount of active alkali. The yield and kappa No. were among 36 to 46% and 23 to 47 respectively. Strength properties of handsheets mainly depended on pulp freeness which was more effective than the amount of active alkali. The handsheets from 350 ml CS were better strength than 500 ml CS. Average properties of handsheets from 350 ml CS of all cooking conditions were as follows ; 0.13 mm thickness, 54.2 g/m^2 moisture free basis weight, 0.44 g/cm^3 density, 4.11 km breaking lenght, 5.80% stretch, 28.0 burst factor, 152 tear factor and 16 folding endurance.

บทคัดย่อ

การทดลองต้มเยื่อโดยวิธีซัลเฟตทำจากลำต้นของไผ่เพ็ด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๒—๕ มม. ที่ตัดมาจากสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา สภาวะในการต้มเยื่อที่ใช้ทดลองคือ active alkali 16%, sulfidity 25%, สัดส่วนของน้ำยาต้มเยื่อต่อไผ่เพ็ด ๔ : ๑ เวลาที่ ๑๗๐°ซ. ๓๐—๙๐ นาที

ผลผลิตเยื่อ ตัวเลขคัปปา และพลังงานที่ใช้ในการบดเยื่อ ขึ้นอยู่กับปริมาณ active alkali ที่ใช้ ผลผลิตเยื่อมีค่าตั้งแต่ ๓๖ ถึง ๔๖% ตัวเลขคัปปามีค่าตั้งแต่ ๒๓—๔๗

ความแข็งแรงของแผ่นเยื่อทดสอบขึ้นอยู่กับความอิสระของเยื่อมากกว่าปริมาณ active alkali แผ่นเยื่อที่ 350 ml CS มีความแข็งแรงสูงกว่าที่ 500 ml CS ค่าเฉลี่ยของแผ่นเยื่อที่ความอิสระ 350 ml CS ของทุกสภาวะการต้มเยื่อสรุปได้ดังนี้ ความหนา ๐.๑๓ มม. น้ำหนักมาตรฐานที่ปราศจากความชื้น ๕๔.๒ ก. ต่อ ตร.ม. ความแน่น ๐.๔๔ ก. ต่อ ลบ.ม. แรงดึง ๔.๑๑ กม. การยืด ๕.๘๐% แฟคเตอร์ของแรงดันทะลุ ๒๘.๐ แฟคเตอร์ของแรงต้านทานต่อการฉีกขาด ๑๕๒ และความทนทานต่อแรงหักพับ ๑๖

๑/ ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กท. ๑๐๙๐๓

๒/ บริษัทบัญจพลไฟเบอร์ คอนเทนเนอร์ จำกัด สมุทรปราการ

คำนำ

ไผ่เพ็ด เพ็ด หรือ เพ็ก เป็นพืชที่มีลักษณะคล้ายไผ่ มีขนาดลำต้นเล็ก พบอยู่ทั่ว ๆ ไปในป่าเต็งรังภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และบางท้องที่ในป่าเต็งรังภาคเหนือ ลำต้นของไผ่เพ็ดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่เล็กกว่า ๒ มม. จนถึงใหญ่กว่า ๒๐ มม. ลำต้นขนาดใหญ่จะพบน้อยเพราะจะถูกไฟทำลายในหน้าแล้งเกือบทุกปี เนื่องจากไผ่เพ็ดขึ้นได้ง่าย และหาได้ทั่วไปในป่าเต็งรัง พืชชนิดนี้น่าจะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเสริมในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษได้ในกรณีที่ขาดแคลน

จากการศึกษามวลชีวภาพของไผ่เพ็ดในป่าเต็งรังที่จังหวัดนครราชสีมาพบว่าน้ำหนักของลำต้นไผ่เพ็ดแห้งมีปริมาณเฉลี่ยถึง ๒๐๕ กก. ต่อไร่ จากการวิเคราะห์ปริมาณสารเคมีของลำต้นไผ่เพ็ดพบว่ามีคาร์โบไฮเดรต ๔๑.๗% ขี้เถ้า ๔.๗๒% โปรตีน ๒.๖๕% และปริมาณไฟเบอร์ ๔๒.๓% (นิวัติ, ๒๕๒๔)

ในการศึกษาการต้มเยื่อกระดาษโดยใช้ $NaHSO_3$ 23% ที่ ๑๕๐°C นาน ๔.๕ ชั่วโมง ได้ผลิตเยื่อ ๕๕% แล้วฟอกเยื่อโดย C/E/H ให้มีความผ่อง ๘๐% นำเยื่อฟอกมาตีให้มีความอิสระ 450 ml S-R ทำแผ่นที่น้ำหนักมาตรฐาน ๖๐.๔ ก. ต่อตร.ม. โดยใส่สารปรับปรุงคุณภาพดังนี้ สารเพิ่มความผ่อง ๐.๓% โรซิน ๑.๕% สารส้ม ๓.๐% คุณสมบัติของแผ่นกระดาษจากไผ่เพ็ดมีดังนี้ แรงดึง ๔.๙๘ กม. แฟคเตอร์ของแรงดันทะลุ ๒๘ แฟคเตอร์ของแรงต้านทานต่อแรงฉีกขาด ๑๐๒ ความทนทานต่อแรงหักพับ ๘๕ (Chu *et al*, 1972)

จากรายงานการศึกษาของไผ่เพ็ดทั้งสองฉบับจะเห็นว่าไผ่เพ็ดให้ผลผลิตต่อเนื้อที่ไม่สูงมากนัก แต่จากคุณสมบัติของเยื่อไผ่เพ็ดโดยเฉพาะแรงต้านทานต่อแรงฉีกขาดสูงเทียบได้กับกระดาษที่ผลิตจากเส้นใยยาวซึ่งขาดแคลนในประเทศ สมควรที่จะศึกษาเพิ่มเติมของพืชชนิดนี้

จุดประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมของการต้มเยื่อโดยวิธีซัลเฟตจากไผ่เพ็ดโดยกำหนดค่า active alkali 12-16 % sulfidity 25 เวลาที่อุณหภูมิ ๑๗๐°ซ. ตั้งแต่ ๑/๒ ถึง ๓/๒ ชั่วโมง การกำหนดความเหมาะสมของการต้มวิเคราะห์จากผลผลิตเยื่อตัวเลขคัปปา การวิเคราะห์น้ำยาต้มเยื่อดำ ความยากง่ายในการบดเยื่อ และคุณสมบัติของเยื่อที่ได้

อุปกรณ์และวิธีการ

๑. อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น ๔ พวกคือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชิ้นไม้สับ การเตรียมเยื่อและการวิเคราะห์เยื่อ การทำแผ่นเยื่อและการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของแผ่นเยื่อ และอุปกรณ์อื่น ๆ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชิ้นไม้สับการเตรียมเยื่อและวิเคราะห์เยื่อเช่นเดียวกับที่ได้รายงานโดย ปรีชา (๒๕๓๒)

อุปกรณ์ที่ใช้ทำแผ่นเยื่อทดสอบประกอบไปด้วยเครื่องบดเยื่อชนิด PFI mill เครื่องทดสอบหาความอิสระของเยื่อแบบแคนาดา เครื่องทำแผ่นเยื่อ เครื่องอัดแผ่นเยื่อเบียก และเครื่องทำแผ่นเยื่อให้แห้งตามมาตรฐาน TAPPI T 205 m–53

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติของแผ่นเยื่อประกอบไปด้วย เครื่องวัดความหนา เครื่องวัดแรงดึง เครื่องวัดแรงดันทะลุ เครื่องวัดแรงฉีกและเครื่องวัดแรงหักพับตามมาตรฐาน TAPPI T 220 m–53

อุปกรณ์อื่น ๆ ได้แก่ เตาอบ เครื่องชั่งหยาบและละเอียด โหลอบความชื้น นาฬิกาจับเวลา ขวดชั่ง และเครื่องแก้วที่จำเป็นในห้องปฏิบัติการเคมี

๒. วัตถุดิบและการเตรียมวัตถุดิบ

ไผ่เพ็ด *Arundinaria pusilla* ที่ใช้ทดลองตัดมาจากสถานีวิจัยสิงแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา คัดขนาดของลำต้นไผ่เพ็ดตั้งแต่ ๒–๕ มม. เป็นส่วนใหญ่ แล้วตัดด้วยมีดให้มีความยาวไม่เกิน ๖๐ มม. ประมาณ ๒๐ กก. ผึ่งไผ่เพ็ดในอาคารให้แห้งเป็นเวลา ๑๐ วัน โดยคลุกกองตัวอย่างวันละ ๒ ครั้ง เพื่อปรับความชื้นของไผ่เพ็ด

เมื่อครบเวลา สุ่มตัวอย่างเพื่อใช้วัดขนาดของไฟเบอร์จากไผ่เพ็ดโดยแบ่งออกเป็น ๓ ขนาด ตามเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นคือ ขนาดเล็กกว่า ๒ มม. ๒–๕ มม. และขนาดใหญ่กว่า ๕ มม. มาขนาดละ ๑๐๐ ก.

หาความชื้นของไผ่เพ็ดจากกองโดยสุ่มมา ๔ ตัวอย่าง ๆ ละ ๒๐ ก. แล้วนำไปอบแห้งตามวิธีที่ได้รายงานโดย ปรีชา (๒๕๓๒)

ชั่งไผ่เพ็ดเพื่อใช้ทดลองต้มเยื่อถุงละ ๔๐๐.๐ ก. ใส่ถุงพลาสติกจนหมดกองในการต้มเยื่อแต่ละครั้งให้สุ่มตัวอย่างจากถุงที่ได้ชั่งไว้จนการต้มเยื่อได้ครบทุกสภาวะตามที่จะได้กำหนดต่อไป

๓. **การวัดขนาดของไฟเบอร์**

สุ่มใบ และลำต้นตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางคือ ขนาดเล็กกว่า ๒ มม. ๒–๕ มม. และใหญ่กว่า ๕ มม. จากที่ได้เก็บตัวอย่างมาชนิดละ ๑๐ ก. แยกไฟเบอร์ของตัวอย่างดังกล่าวตามวิธีของแฟรงคลิน โดยแช่ตัวอย่างในสารละลายผสมของกรดน้ำส้มเข้มข้นกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น ๖% ในอัตราส่วน ๑ : ๒ อุ่นสารละลายที่ ๖๐°ซ. นาน ๔๘ ชั่วโมง หรือจนกว่าไฟเบอร์จะแยกออกจากกันจากการทดสอบโดยการเขย่าขึ้นตัวอย่าง ล้างตัวอย่างจนหมดกรด ย้อมสีด้วยซาฟรานิน แล้วเขย่าให้ไฟเบอร์แยกออกจากกัน วัดความยาวและความกว้างของไฟเบอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยวัดจากไฟเบอร์ไม่น้อยกว่า ๔๐ เซลล์ ของแต่ละตัวอย่าง

๔. **สภาวะในการต้มเยื่อ**

ในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดสภาวะในการต้มเยื่อ ๒ แบบคือ สภาวะคงที่และสภาวะเปลี่ยนแปลง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

สภาวะคงที่

อุณหภูมิสูงสุด	๑๗๐°ซ
เวลาที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิ	๔๕ นาที
สัดส่วนของน้ำยาต่อไม้	๓.๕ : ๑

สภาวะเปลี่ยนแปลง

ก. Active alkali 12, 14 และ 16%
Sulfidity 25%
เวลาที่ ๑๗๐°ซ. ๐.๕,๑.๐ และ ๑.๕ ชม.

ข. Active alkali 16%
Sulfidity 30%
เวลาที่ ๑๗๐°ซ. ๒.๐ ชม.

ในการต้มเยื่อแต่ละสภาวะทำการทดลอง ๒ ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย เยื่อที่ได้แต่ละครั้งนำมาหาผลผลิตเยื่อแล้วจึงผสมกัน แล้วทำแผ่นเพื่อทดสอบหาคุณสมบัติ ส่วนวิธีการเตรียมน้ำยาต้มเยื่อ การวิเคราะห์น้ำยาต้มเยื่อขาว การต้มเยื่อ การหาค่า H–factor การคัดขนาดเยื่อ การหาผลผลิตเยื่อ และการหาตัวเลขคัปปา ทำตามวิธีที่ได้รายงานโดย ปรีชา (๒๕๓๒)

๕. **การบดเยื่อและความยากง่ายในการบดเยื่อ**

ในการบดเยื่อแต่ละครั้งให้ชั่งเยื่อคิดเป็นน้ำหนักอบแห้ง ๓๐ ก. ใส่ถุงพลาสติกขนาดเล็ก ๗–๘ ตัวอย่าง โดยคำนวณจากความชื้นของเยื่อที่หาได้จากวิธีในข้อ ๔ เติมน้ำในถุงเยื่อแต่ละถุงให้ได้น้ำหนักทั้งหมด ๓๐๐ ก. นำเยื่อไปกระจายตามขอบด้านในของห้องบดเยื่อของเครื่อง FPI mill อย่างสม่ำเสมอ บดเยื่อด้วยระยะห่างระหว่างจานบด ๐.๕ มม. จนกระทั่งได้เยื่อที่มีความอิสระลดลงประมาณ 200 ml CS โดยกำหนดช่วงของความอิสระของเยื่อที่ได้จากการบดทุก ๆ 100 ml CS จากเยื่อที่ไม่ได้บดมีค่าความอิสระประมาณ 700 ml CS บันทึกจำนวนรอบและความอิสระของเยื่อที่ได้

๖. **การวัดความอิสระของเยื่อ**

นำเยื่อที่ผ่านการบดแล้วมากระจายในน้ำกลั่น ๕ ล. กวนให้เยื่อกระจาย ตวงสารละลายเยื่อมา ๕๐๐ มล. ผสมกับน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิประมาณ ๑๐°ซ. โดยปรับปริมาตรสารละลายเยื่อทั้งหมด ๑,๐๐๐ มล. (เยื่อแห้ง ๓ ก.) วัดอุณหภูมิที่แน่นอน นำไปวัดความอิสระของเยื่อด้วยเครื่องวัดความอิสระของเยื่อตามมาตรฐานของแคนาดา ปรับค่าความอิสระของเยื่อที่ได้ที่ ๒๐.๐°ซ. ตามตารางที่กำหนดในมาตรฐาน TAPPI T 227m-58 ทำการวัดความอิสระของเยื่อซ้ำอีกหนึ่งครั้ง

๗. **การทำแผ่นทดสอบ**

จากผลการทดสอบในข้อ ๕ และกำหนดการบดเยื่อให้ได้ความอิสระของเยื่อที่ ๓๕๐±๕ และ ๕๐๐±๑๐ มล. หลังจากได้ความอิสระของเยื่อตามที่ต้องการแล้วเติมน้ำใส่ในสารละลายเยื่อให้มีความเข้มข้นเป็น ๐.๑๕% โดยน้ำหนัก ตวงสารละลายเยื่อมา ๘๐๐ มล. ทำแผ่นเยื่อทดสอบในกระบอกตวงที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๖.๕ ซม. โดยกำหนดน้ำหนักมาตรฐาน ๕๕ ก. ต่อ ตร.ม. แล้วทำแผ่นเยื่อทดสอบให้แห้งตามมาตรฐาน TAPPI T205m–58 โดยทำแผ่นไม่น้อยกว่า ๑๐ แผ่น ในแต่ละความอิสระของเยื่อ

๘. **การแบ่งแผ่นเยื่อและการทดสอบ**

เลือกแผ่นเยื่อทดสอบที่ดีที่สุด ๕ แผ่นของแต่ละความอิสระ มาผึ่งในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ ๒๓°ซ. และความชื้น ๕๕% ตามมาตรฐาน TAPPI T402m–49 ไม่น้อยกว่า ๔ ชม. ชั่งน้ำหนักของแผ่นเยื่อทั้ง ๕ แผ่นให้ได้น้ำหนักเป็นมิลลิกรัมเพื่อนำมาคำนวณหาน้ำหนักมาตรฐานของแผ่นเยื่อ วัดความหนาของแผ่นเยื่อกระดาษเป็นไมโครเมตรทีละ ๕ แผ่น โดยวัด ๓ จุด หาค่าเฉลี่ยของความหนาแต่ละแผ่นและนำมาคำนวณหาค่าความแน่น และส่วนกลับของความแน่น

แบ่งแผ่นเยื่อทดสอบโดยลากเส้นผ่าศูนย์กลาง ลากเส้นตั้งฉากกับเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระยะ ๒๗ ซม. จากริมกระดาษ นำส่วนนี้ไปหาความชื้นโดยวิธีอบแห้ง ตัดแถบกระดาษกว้าง ๔๓ มม. จากแนวตัดเดิมด้วย

เครื่องตัดเฉพาะขนาดเพื่อนำไปทดสอบหาแรงฉีกของแผ่นเยื่อเป็นระยะ ๔๓ มม. ครั้งละ ๕ แผ่น จำนวน ๒ ครั้ง

ตัดแถบกระดาษกว้าง ๑๕ มม. ต่อจากแนวตัดเดิมด้วยเครื่องตัดเฉพาะขนาดอีก ๓ แถบ ต่อแผ่นเยื่อทดสอบ ๑ แผ่น เพื่อนำไปทดสอบหาแรงดึงและการยืดจำนวน ๒ แถบ และความทนทานต่อแรงหักพับ ๑ แถบ

แถบกระดาษที่เหลือจากการตัด นำไปทดสอบหาแรงดันทะลุ โดยทำการทดสอบแผ่นละ ๒ ครั้ง

การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นเยื่อที่กล่าวข้างบนนี้ ทำตามมาตรฐาน TAPPI T205m-58

๙. การวิเคราะห์น้ำยาต้มเยื่อดำ

บีเปตน้ำยาต้มเยื่อดำ ๕ มล. ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่น ๕๐ มล. เติมสารละลาย $BaCl_2$ เข้มข้น ๑๐% ๒๕ มล. แล้วติเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน HCl เข้มข้น ๐.๕๑๕๔ นอร์แมล จนถึง pH 4.0 บันทึกปริมาณสารละลาย HCl ที่ใช้ นำปริมาณ HCl ที่ได้มาเขียนกราฟเพื่อหาปริมาณ HCl ที่ใช้ไปที่ pH 4.3

ผลและวิจารณ์

๑. วัตถุดิบ

ความชื้นของชิ้นไม้สับผึ่งแห้งมีค่าเฉลี่ยเป็น ๑๒.๔% ไฟเบอร์ของไผ่เพ็ดมีลักษณะยาวรี ปลายแหลมและผนังเซลล์บางมากจนยากที่จะสังเกตุด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดธรรมดา และถ้าย้อมสีไม่ดีพอจะวัดขนาดเซลล์ได้ลำบาก ค่าเฉลี่ยของความยาวและความกว้างของไฟเบอร์ของไผ่เพ็ดจากใบและลำต้นขนาดต่างๆ (<๒ มม., ๒-๕ มม. และ > ๕ มม.) จากการวัดตัวอย่างละ ๔๐ ไฟเบอร์ แสดงได้ดังตารางที่ ๑

จากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจากเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของไฟเบอร์โดยใช้ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น ๙๕% สรุปได้ดังนี้

เส้นผ่าศูนย์กลางของไฟเบอร์ เรียงลำดับจากเล็กไปหาใหญ่ได้ดังนี้ ใบ ลำต้นขนาดเล็กกว่า ๒ มม. ๒-๕ มม. และใหญ่กว่า ๕ มม.

ความยาวของไฟเบอร์ เรียงลำดับจากสั้นไปหายาวได้ดังนี้ ใบ ลำต้นขนาดเล็กกว่า ๒ มม. ๒-๕ มม. และใหญ่กว่า ๕ มม.

Table 1 Average fiber-lenght and diameter of bamboo grass stems and leaves.

Sources		Average, mm	Range, mm
Stem ; <2 mm,	fiber lenght	1.49	0.88 –2.33
	fiber diameter	0.010	0.003–0.023
2-5 mm,	fiber lenght	2.31	1.25 –3.70
	fiber diameter	0.014	0.006-0.023
>5 mm,	fiber lenght	3.13	2.33 –4.07
	fiber diameter	0.017	0.012–0.029
Leaves ;	fiber lenght	0.77	0.349-1.222
	fiber diameter	0.003	–

จากความยาวของไฟเบอร์จะเห็นว่าถ้านำไผ่เพ็ดเฉพาะลำต้นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า ๒ มม. จะได้วัตถุดิบที่จัดอยู่ในประเภทเส้นใยยาวคือ ยาวกว่า ๒มม.

๒. สารเคมีที่ใช้

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของน้ำยาต้มเยื่อขาวที่ได้เตรียมน้ำยาพอเพียงในแต่ละสภาวะของการต้มเยื่อ ได้วิเคราะห์เป็นค่า active alkali, sulfidity และปริมาณของ NaOH และ Na_2S ของสภาวะการต้มเยื่อทั้งสี่สรุปได้ดังตารางที่ ๒

จะเห็นว่าค่า active alkali และ sulfidity ที่ทดลองในแต่ละสภาวะของการต้มเยื่อ มีค่าอยู่ในช่วง + ๐.๕% ของที่ได้กำหนดไว้ เมื่อคิดค่าความเข้มข้นของ NaOH ในน้ำยาต้มเยื่อขาวที่ผสมกับชิ้นไม้สับที่สภาวะต้มเยื่อ A,B,C และ D มีค่าเป็น ๓๒.๙, ๓๘.๔, ๔๓.๘ และ ๔๐.๙ ก. ต่อ ล. ตามลำดับ และความเข้มข้นของ Na_2S มีค่าเป็น ๑๑.๐, ๑๒.๗, ๑๔.๑ และ ๑๘.๕ ก. ต่อ ล. ตามลำดับ

๓. ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่อุณหภูมิสูงสุด, H-factor, ตัวเลขคัปปาและผลผลิตเยื่อที่ได้

ค่าเฉลี่ยของความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่อุณหภูมิสูงสุด, H-factor, ตัวเลขคัปปา และผลผลิตเยื่อที่ได้ของการต้มเยื่อโดยใช้สารเคมีทั้งสี่สภาวะ แสดงได้ดังตารางที่ ๓

Table 2. Chemical used in each sulfate cooking of bamboo glass.

Chemical	Active alkali, %	Sulfidity, %	Chemical use, g	
			Na_2S	NaOH
A	11.97	25.47	13.65	40.96
B	13.94	25.36	15.82	47.78
C	15.81	24.76	17.52	54.62
D	16.24	31.65	23.00	50.97

Table 3. Relationships among time at maximum temperature, H2factos, Kappa No and pulping yield from sulfate cooking of bamboo grass.

Chemical*	Time, hr.	Calculated H-factor	Kappa No	Residual mass %	
				Pulp	Reject
A	½	761	47.0	46.6	3.8
	1	1,186	47.0	46.3	3.2
	³⁄₂	1,696	47.0	46.3	2.1
B	½	775	36.6	45.5	2.1
	1	1,253	36.5	43.9	1.4
	³⁄₂	1,738	38.8	42.6	0.9
C	½	834	23.2	39.5	0.7
	1	1,256	25.2	40.6	0.8
	³⁄₂	1,628	24.7	36.4	0.9
D	2	2,130	36.1	41.8	1.0

*See Table 2.

จากค่าตัวเลขคัปปาและผลผลิตเยื่อที่ได้จะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการต้มเยื่อที่อุณหภูมิสูงสุดมีผลกระทบน้อยต่อค่าทั้งสอง แต่การเพิ่ม active alkali โดยเฉพาะจาก ๑๒ เป็น ๑๖% จะลดตัวเลขคัปปาลงประมาณครึ่งหนึ่ง และในทำนองเดียวกันจะลดผลผลิตเยื่อลงอีกด้วย สิ่งที่ต้องระวังคือ ที่ active alkali 16% และ sulfidity 25% การเพิ่มเวลาในทางต้มเยื่อจะเป็นผลในทางลบเพราะมีแนวโน้มที่จะเพิ่มตัวเลขคัปปาและลดผลผลิตเยื่อลง ซึ่งการเพิ่มตัวเลขคัปปานี้จะมีผลทำให้การบดเยื่อยากขึ้นและความแข็งแรงของเยื่อไม่เพิ่มขึ้นด้วย

๔. ปริมาณด่างที่เหลือที่ใช้ในน้ำยาต้มเยื่อดำ

จากการทำ Potentiometric titration ของน้ำยาต้มเยื่อดำ โดยใช้สารละลายมาตรฐาน HCI เข้มข้น ๐.๕๑๕๔ นอร์แมล ติเตรตน้ำยาต้มเยื่อดำ ๕ มล. อ่านค่า pH ที่ได้ของทุก ๆ HCI ที่ใช้ตั้งแต่ ๐.๒–๑.๐ มล. จน pH ของน้ำยาต้มเยื่อดำต่ำกว่า ๔.๓ เขียนกราฟระหว่างปริมาณ HCI ที่ใช้และ pH ดังภาพที่ ๑ อ่านค่าปริมาณ HCI ที่ใช้ที่ pH ๔.๓ คำนวณหาปริมาณ NaOH ในน้ำยาต้มเยื่อดำและที่ใช้ในการต้มเยื่อดำที่แสดงในตารางที่ ๔

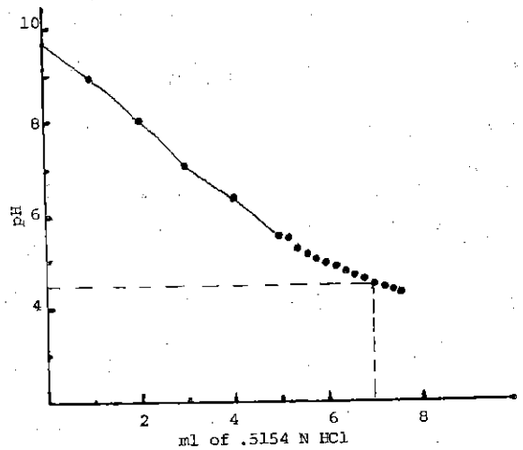

Figure 1. Titration of 5 ml of black liquor from 14% active alkali, 25% sulfidity and 1.5 hours at 170 C°.

Table 4. Residual alkali in black liquor from sulfate cooking of bamboo grass.

Chemical*	H–factor	NaOH in white liquor, gpl	NaOH in black liquor, gpl	NaOH Consumed, gpl
A	761	38.4	29.6	8.8
	1,186	38.4	28.8	9.6
	1,696	38.4	28.0	10.4
B	775	44.7	36.4	8.3
	1,253	44.7	32.0	12.7
	1,738	44.7	30.0	14.7
C	843	50.9	40.4	10.5
	1,256	50.9	38.8	12.1
	1,628	50.9	31.2	19.7
D	2,130	50.1	23.2	26.9

*See Table 2

จะเห็นว่าการใช้ NaOH ในการต้มเยื่อของไผ่เพ็ดเป็น ไปตามเวลาที่ใช้ในการต้มเยื่อมากกว่าปริมาณ active alkali ที่เปลี่ยนไป การเพิ่มเวลาต้มเยื่อที่ ๑๗๐°ซ. จาก ๓๐ นาที เป็น ๙๐ นาทีจะใช้ NaOH เพิ่มขึ้นตั้งแต่ ๓๐% ถึง ๑๐๐% ตาม active alkali ที่กำหนด และเมื่อพิจารณาตัวเลขคัปปาและผลผลิตเยื่อที่ผ่านมาแล้วจะเห็นว่าการต้มเยื่อที่เวลา ๓๐ นาที ให้ผลดีกว่าการต้มเยื่อที่ ๙๐ นาที การต้มในระยะเวลาสั้นนอกจากจะให้ผลผลิตเยื่อและคุณสมบัติของเยื่อที่ดีกว่าแล้วยังประหยัดสารเคมี และเวลาที่ใช้ในการต้มเยื่ออีกด้วย

๕. การทดสอบทางสถิติ

ในการทดสอบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจากคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเยื่อและแผ่นเยื่อตามการกระทำที่กำหนดในตารางที่ ๕ โดยใช้ t–test ทดสอบค่าเฉลี่ยเป็นคู่ๆ โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ ๙๕% และกำหนดคู่ของการกระทำที่ได้ทดสอบดังต่อไปนี้

เปรียบเทียบระดับของ active alkali (AA) ที่ใช้ได้ ๓ คู่คือ AA 12 vs AA 14, AA 12 vs AA 16, และ AA 14 vs AA 16

เปรียบเทียบระดับของเวลาที่ใช้ในการต้มเยื่อที่อุณหภูมิสูงสุดได้ ๓ คู่คือ 1/2 vs 1, 1/2 vs 3/2 และ 1 vs 3/2

เปรียบเทียบระดับของความอิสระของเยื่อตามที่กำหนดได้ ๑ คู่ คือ 500 ml CS vs 300 ml CS

๖. ความยากง่ายในการบดเยื่อ

ในการศึกษาหาความยากง่ายจากการบดเยื่อของไผ่เพ็ดทำโดยบันทึกจำนวนรอบของเครื่อง PFI mill และค่าความอิสระของเยื่อที่ได้เป็นครั้ง ๆ ค่าความอิสระที่หาได้ทำการทดลองอย่างน้อยสองครั้ง ความอิสระของเยื่อที่ไม่ผ่านการบดเยื่อเลยมีค่าระหว่าง ๖๐๐–๗๐๐ ml CS และกำหนดการบดเยื่อให้มีค่าความอิสระของเยื่อลงเหลือประมาณ ๒๐๐–๓๐๐ ml CS นำค่าความสัมพันธ์ระหว่างความอิสระของเยื่อและจำนวนรอบที่นับจากเครื่อง PFI mill มาเขียนกราฟดังภาพที่ ๒ อ่านค่าจำนวนรอบจากกราฟที่ระดับความอิสระของเยื่อ ๓๕๐ และ ๕๐๐ ml CS ซึ่งสรุปได้ดังตารางที่ ๕

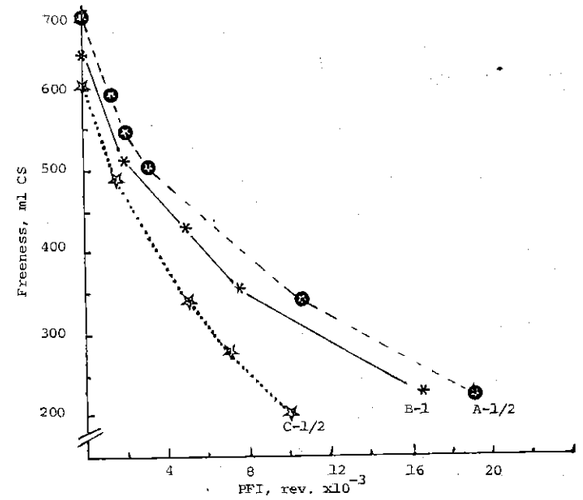

Figure 2. Typical beatability of bamboo grass pulp by PFI mill from three cooking coeditions.

Table 5. Physical properties of bamboo grass pulps cooking at 12, 14 and 16% active alkali, 25% sulfidity and time at 170° C of ½, 1 and ½ hrs.

Active alkali (AA), %	Designated pulp freeness ml CS					
	½ hrs		1 hr		½ hrs	
	500	350	500	350	500	350
(1) PFI mill, revsx 1/10						
AA 12	340	1005	300	850	320	920
AA 14	310	900	250	790	260	800
AA 16	130	480	190	725	240	780
(2) Pulp freeness ml CS						
AA 12	508	342	508	340	510	356
AA 14	510	351	515	358	515	348
AA 16	491	342	491	342	494	341
(3) Moisture free basis weight, g/m^2						
AA 12	53.2	53.2	50.5	51.1	49.6	50.4
AA 14	49.4	53.2	54.9	53.7	52.5	52.0
AA 16	49.3	64.8	55.0	54.7	56.1	54.4
(4) Density, g/m^3						
AA 12	0.41	0.44	0.38	0.42	0.37	0.43
AA 14	0.39	0.44	0.40	0.41	0.40	0.40
AA 16	0.42	0.45	0.43	0.48	0.44	0.46
(5) Breaking length, km.						
AA 12	3.45	3.80	3.29	3.63	3.20	3.56
AA 14	3.55	4.02	3.22	3.85	3.31	4.20
AA 16	4.25	4.92	3.84	4.28	3.56	4.64

Table 5. (Cont.)

Active alkali (AA), %	Designated pulp freeness, ml CS					
	½ hrs		1 hr		½ hrs	
	500	350	500	350	500	350
(6) Stretch, %						
AA 12	5.02	5.37	4.60	4.96	4.80	4.94
AA 14	4.90	5.65	4.80	5.58	4.86	5.65
AA 16	5.09	7.57	5.23	6.06	4.87	6.38
(7) Burst factor, %						
AA 12	21.3	26.7	19.0	23.9	19.2	24.2
AA 14	22.5	26.7	18.6	27.0	21.5	29.8
AA 11	27.8	31.3	24.9	30.2	24.1	32.6
(8) Tear factor, %						
AA 12	125	151	127	142	136	136
AA 14	153	156	128	149	161	182
AA 16	109	130	140	162	144	168
(9) Folding endurance, MIT double folds						
AA 12	8.8	12.4	5.6	11.2	6.2	8.6
AA 14	7.2	12.2	6.8	15.0	7.2	16.0
AA 16	11.4	26.4	11.2	18.8	0.8	23.0

จากการทดสอบทางสถิติของจำนวนรอบเฉลี่ยพบว่า active alkali ที่ระดับ ๑๒–๑๖% และเวลาที่ใช้ในการต้มเยื่อที่อุณหภูมิสูงสุดตั้งแต่ ๑/๒ ถึง ๓/๒ ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ระดับความอิสระของเยื่อที่ ๓๕๐ ml CS จะใช้จำนวนรอบในการบดเยื่อสูงกว่าที่ ๕๐๐ ml CS

๗. การทำแผ่นเพื่อทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์

ในการทำแผ่นเยื่อเพื่อการทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ได้กำหนดความอิสระของเยื่อที่ ๓๕๐ + ๑๐ และ ๕๐๐ ± ๑๐ ml CS ของทุกสภาวะการต้มเยื่อ ยกเว้นที่ active alkali 16% และ sulfidity ๓๐% ให้ทำแผ่นเยื่อเพื่อการทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่ความอิสระตั้งแต่ ๖๕๐-๒๕๐ ml CS โดยทำแผ่นทุก ๆ ช่วงของความอิสระของเยื่อ ๑๐๐ ml CS ความอิสระของแผ่นเยื่อที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์แสดงได้ดังตารางที่ ๖

๘. คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแผ่นเยื่อทดสอบ

น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา ความแน่น ส่วนกลับของความแน่น การยืดตัว แรงดึง แรงดันทะลุ ความต้านทานต่อแรงฉีก และแรงหักพับของแผ่นเยื่อทดสอบจากการต้มเยื่อไผ่เพ็ดที่ active alkali 16, sulfidty 30 และ ๒ ชั่วโมง ที่ความอิสระของเยื่อตั้งแต่ ๖๕๐ ถึง ๒๕๐ ml CS แสดงเป็นตัวอย่างดังภาพที่ ๓ จะเห็นว่าความหนาและน้ำหนักมาตรฐานของแผ่นเยื่อทดสอบขึ้นอยู่กับความอิสระของเยื่อเพียงเล็กน้อย ส่วนความแน่นและความแข็งแรงของแผ่น

Table 6. Freeness of bamboo grass pulps for handsheet making.

Chemical*	Designated freeness, ml CS	Actual freeness (ml CS) of pulps from various cooking time (hrs)		
		1/2	1	3/2
A	500	508	508	510
	350	342	340	356
B	500	510	515	515
	350	351	358	348
C	500	491	491	494
	350	342	342	341

*See Table 2.

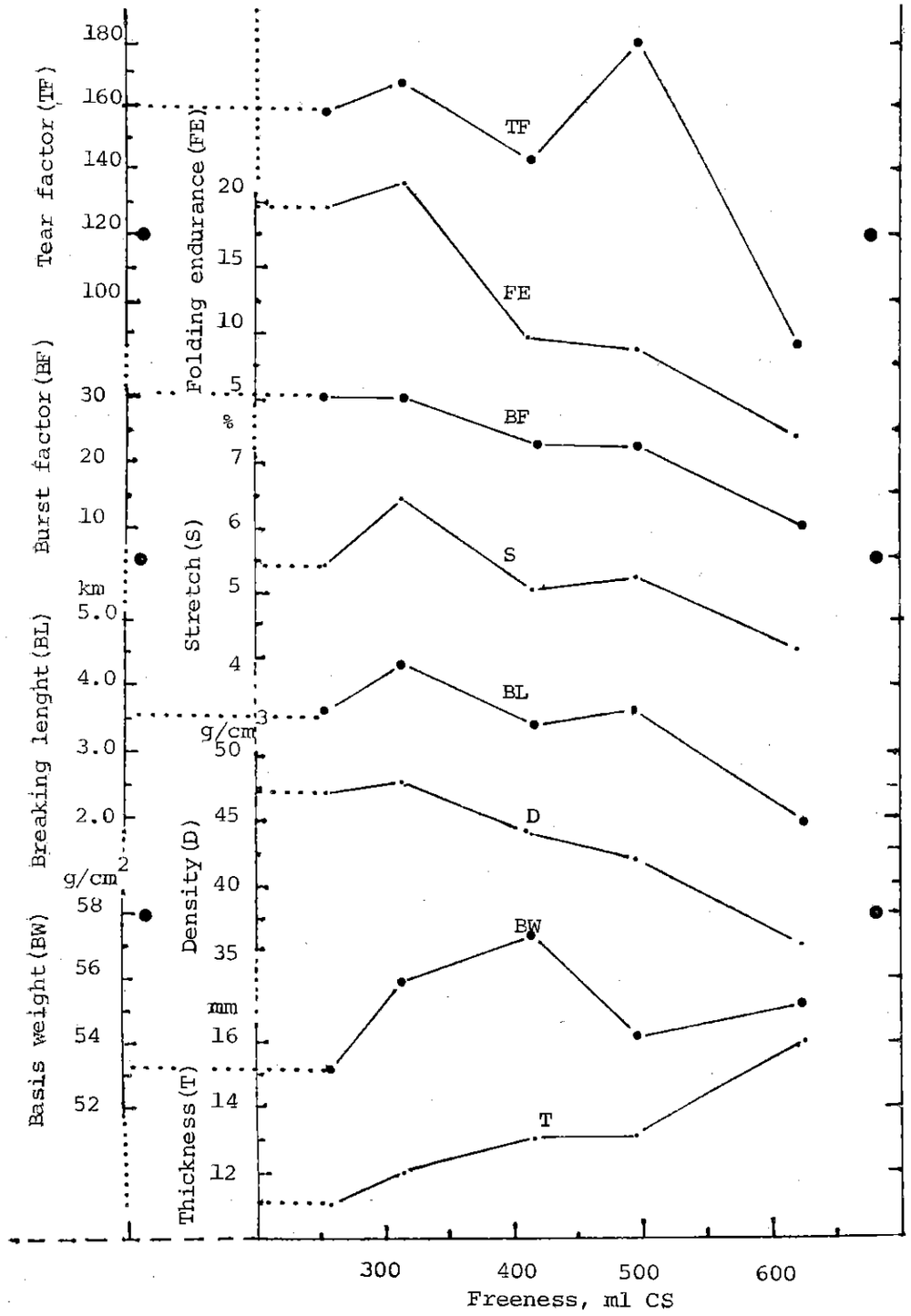

Figure 3. Typical physical properties of handsheets from bamboo grass pulp cooking at 16% active alkali, 30% sulfidity and 2 hours at 170° C.

เยื่อทดสอบเช่นแรงดึง การยืด แรงดันทะลุ ความต้านทานต่อแรงฉีกขาด และความทนทานต่อแรงหักพับขึ้นอยู่กับความอิสระของเยื่อมากและให้ค่าสูงสุดที่ความอิสระของเยื่อประมาณ ๓๐๐ ml CS ดังเช่นเยื่อซัลเฟตจากพืชชนิดอื่น ๆ ที่ได้รายงานมา

สำหรับคุณสมบัติทางพิสิกส์ของแผ่นเยื่อทดสอบที่จะรายงานดังต่อไปนี้เป็นแผ่นเยื่อทำจาก active alkali 12, 14 และ 16% ที่ sulfidity 25% ต้มเยื่อด้วยเวลาที่อุณหภูมิสูงสุดเป็น ๑/๒, ๑ และ ๓/๒ ชั่วโมง ความอิสระของแผ่นเยื่อที่กำหนดเป็น ๓๕๐ และ ๕๐๐ ml CS ค่าที่แท้จริงของความอิสระของแผ่นเยื่อดังที่ได้แสดงในตารางที่ ๖

๙. น้ำหนักมาตรฐานของแผ่นเยื่อทดสอบ

ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักมาตรฐานของแผ่นเยื่อทดสอบที่ปราศจากความชื้นในแต่ละการกระทำได้มาจากการชั่งน้ำหนักแผ่นเยื่อทดสอบทั้ง ๕ แผ่น แล้วนำเศษกระดาษจากการทดสอบที่ได้ไปหาความชื้นตามวิธีการที่ได้กำหนดในมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยน้ำหนักมาตรฐานของแผ่นเยื่อทดสอบที่ปราศจากความชื้นของทุกการกระทำมีค่าเป็น ๕๓.๒ ก. ต่อ ตร.ม. น้ำหนักมาตรฐานของแผ่นเยื่อทดสอบที่ปราศจากความชื้นต่ำสุดและสูงสุดมีค่าเป็น ๔๙.๓และ ๖๔.๓ ก. ต่อ ตร.ม. ตามลำดับ จากการทดสอบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยน้ำหนักมาตรฐานของแผ่นเยื่อทดสอบที่ปราศจากความชื้นพบว่าปริมาณ active alkali, เวลาที่ใช้ในการต้มเยื่อและระดับความอิสระของเยื่อที่ ๓๕๐ และ ๕๐๐ ml CS ไม่ทำให้น้ำหนักมาตรฐานของแผ่นเยื่อทดสอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

๑๐. ความหนาของแผ่นเยื่อทดสอบ

ความหนาของแผ่นเยื่อทดสอบเกือบทุกการกระทำมีค่าความหนาระหว่าง ๐.๑๒–๐.๑๓ มม. มีเพียงสองสามการกระทำที่ความหนาของแผ่นเยื่อทดสอบมีค่าเป็น ๐.๑๔ มม.

๑๑. ความแน่นของแผ่นเยื่อทดสอบ

ความแน่นเฉลี่ยของแผ่นเยื่อทดสอบคิดจากน้ำหนักของแผ่นเยื่ออบแห้งต่อปริมาตรที่ควบคุมสภาวะความชื้นดังที่ได้แสดงในตารางที่ ๕ ค่าเฉลี่ยความแน่นของแผ่นเยื่อของทุกการกระทำมีค่าเป็น ๐.๔๒ ก. ต่อ ลบ.ซม. ค่าความแน่นต่ำสุดและสูงสุดของแผ่นเยื่อทดสอบมีค่าเป็น ๐.๓๗และ๐.๔๘ ก. ต่อ ลบ.ซม. ตามลำดับ

จากการทดสอบความแตกต่างของความแน่นเฉลี่ยพบว่าแผ่นเยื่อที่ทำจาก AA 16 มีค่าสูงกว่า AA 14 และ AA 12 และแผ่นเยื่อที่ทำจากเยื่อที่มีความอิสระ ๓๕๐ ml CS มีค่าสูงกว่า ๕๐๐ ml CS ส่วนความแน่นของแผ่นเยื่อที่ทำจาก AA 14 และ AA 12 และการเปรียบเทียบของแผ่นเยื่อจากระยะเวลาต้มเยื่อต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

๑๒. แรงดึงและการยืด

ค่าแรงดึงและการยืดเฉลี่ยของแผ่นเยื่อในแต่ละการกระทำเฉลี่ยมาจากการทดสอบ ๑๐ ครั้ง จากแผ่นเยื่อ ๕ แผ่น ดังที่ได้แสดงในตารางที่ ๕

ค่าแรงดึงเฉลี่ยทั้งหมดของทุกสภาวะการต้มเยื่อมีค่าเป็น ๓.๘๑ กม. ค่าแรงดึงต่ำสุดและสูงสุดมีค่าเป็น ๓.๒๐ และ ๔.๙๒ กม. ตามลำดับ จากการทดสอบความแตกต่างของค่าแรงดึงเฉลี่ยในแต่ละการกระทำพบว่าแผ่นเยื่อที่ทำจากการต้มเยื่อ AA 16 ให้ค่าแรงดึงเฉลี่ยสูงกว่าแผ่นเยื่อที่ AA 12 และแผ่นเยื่อที่ความอิสระ ๓๕๐ ml CS ให้ค่าแรงดึงเฉลี่ยสูงกว่า ๕๐๐ ml CS จากการเปรียบเทียบระหว่าง AA 12 vs AA 14, AA 14 vs AA 16 และการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการต้มเยื่อ พบว่าค่าแรงดึงเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เยื่อกระดาษที่ทดสอบหาแรงดึงมีค่าการยืดเฉลี่ย ๔,๓๖% ค่าการยืดเฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุดเป็น ๔.๖๐ และ ๗.๕๗% ตามลำดับ จากการทดสอบความแตกต่างของค่าการยืดเฉลี่ยพบว่าแผ่นเยื่อที่มีค่าความอิสระ ๓๕๐ ml CS ให้ค่าการยืดเฉลี่ยสูงกว่า ๕๐๐ ml CS แผ่นเยื่อที่ผลิตจากระดับ active alkali ต่าง ๆ และเวลาในการต้มเยื่อต่าง ๆ มีค่าการยืดเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างนัยสำคัญ

๑๓. แรงดันทะลุ

ค่าเฉลี่ยแฟคเตอร์ของแรงดันทะลุในแต่ละการกระทำตามตารางที่ ๕ ได้มาจากการทดสอบ ๑๐ ครั้ง จากแผ่นเยื่อจำนวน ๕ แผ่น ค่าเฉลี่ยแฟคเตอร์ของแรงดันทะลุของแผ่นเยื่อทุกการกระทำมีค่าเป็น ๒๕.๑% ค่าแฟคเตอร์ของแรงดันทะลุต่ำสุดและสูงสุดมีค่าเป็น ๑๘.๖ และ ๓๒.๖% ตามลำดับ จากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแฟคเตอร์ของแรงดันทะลุพบว่าแผ่นเยื่อที่ได้จาก AA 16 และความอิสระ ๓๕๐ ml CS มีค่าเฉลี่ยแฟคเตอร์ของแรงดันทะลุสูงกว่า AA 12 และความอิสระ ๕๐๐ ml CS ตามลำดับ ส่วนการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแฟคเตอร์ของแรงดันทะลุจากแผ่นเยื่อระหว่าง AA 12 vs AA 14, AA 14 vs AA 16 และเวลาที่ใช้ในการต้มเยื่อพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

๑๔. ความต้านทานต่อแรงฉีกขาด

ค่าเฉลี่ยความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของแผ่นเยื่อในแต่ละการกระทำตามตารางที่ ๕ ได้มาจากการทดสอบ ๒ ครั้ง ๆ ละ ๕ แผ่น พบว่าค่าเฉลี่ยแฟคเตอร์ของความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของแผ่นเยื่อทุกการกระทำมีค่าเป็น ๑๔๔ ค่าแฟคเตอร์ของความต้านทานต่อแรงฉีกขาดต่ำสุดและสูงสุดมีค่าเป็น ๑๐๙ และ ๑๘๒ ตามลำดับ จากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแฟคเตอร์ของความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของแผ่นเยื่อในแต่ละการกระทำ พบว่าแผ่นเยื่อจาก active alkali 14% ให้ค่าเฉลี่ยแฟคเตอร์ของความต้านทานต่อแรงฉีกขาดสูงกว่า ๑๒% เท่านั้น ส่วนปัจจัยที่ใช้เปรียบเทียบอื่น ๆ ที่เหลือทั้ง active alkali, เวลาที่ใช้ในการต้มเยื่อและความอิสระของเยื่อพบว่าค่าเฉลี่ยแฟคเตอร์ของความต้านทานต่อแรงฉีกขาดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

๑๕. ความทนทานต่อแรงหักพับ

ค่าเฉลี่ยของความทนทานต่อแรงหักพับของแผ่นเยื่อในแต่ละการกระทำตามตารางที่ ๕ ได้มาจากการทดสอบ ๕ ครั้ง โดยแผ่นเยื่อ ๑ แผ่น ทดสอบ ๑ ครั้ง ค่าเฉลี่ยของความทนทานต่อแรงหักพับของทุกการกระทำมีค่าเป็น ๑๒.๑ ความทนทานต่อแรงหักพับของแผ่นเยื่อต่ำสุด และสูงสุดมีค่าเป็น ๖.๒ และ ๒๖.๔ ตามลำดับ จากการหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความทนทานต่อการหักพับของแผ่นเยื่อในแต่ละการกระทำพบว่า เยื่อที่ได้จาก AA 16 และความอิสระของเยื่อ ๓๕๐ ml CS มีค่าความทนทานต่อการหักพับสูงกว่าเยื่อที่ได้จาก AA 12 และความอิสระของเยื่อ ๕๐๐ ml CS ตามลำดับ ส่วนการกระทำอื่น ๆ ที่ใช้เปรียบเทียบเช่น active alkali และเวลาที่ใช้ในการต้มเยื่อไม่ทำให้ค่าเฉลี่ยของความทนทานต่อแรงหักพับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สรุป

การศึกษาการต้มเยื่อกระดาษโดยวิธีซัลเฟตจากไผ่เพ็ดที่เก็บมาจากป่าเต็งรังสะแกราช จ. นครราชสีมา ไผ่เพ็ดที่ใช้ศึกษาส่วนใหญ่มีขนาด ๒–๕ มม. กำหนดสภาวะการต้มเยื่อดังต่อไปนี้

Active alkali	12, 14, 16%
Sulfidity	25%
Liquor to wood ratio	4 : 1
อุณหภูมิที่ใช้ต้มเยื่อ	๑๗๐ °ซ
เวลาถึงอุณหภูมิ ๑๗๐ °ซ.	๔๕ นาที
เวลาที่อุณหภูมิ ๑๗๐ °ซ.	๓๐, ๖๐ และ ๙๐ นาที

จากผลการทดลองสรุปได้ดังต่อไปนี้

๑. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของไฟเบอร์จากไผ่เพ็ดแปรผันไปตามขนาดของลำต้น ลำต้นขนาด ๒–๕ มม. มีค่าเฉลี่ยความยาวของไฟเบอร์ ๒.๓๑ มม. และเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๔ ไมครอน และถ้าลำต้นขนาดใหญ่กว่า ๕ มม. ไฟเบอร์จะยาวกว่า ๓ มม. ถ้าลำต้นขนาดเล็กกว่า ๒ มม. ไฟเบอร์จะสั้นกว่า ๒ มม. ดังนั้นในการผลิตเยื่อกระดาษจากไผ่เพ็ด ควรใช้ลำต้นที่มีขนาดใหญ่กว่า ๒ มม. จะให้คุณสมบัติเยื่อดีและยังประหยัดค่าชนส่งอีกด้วย

๒. ปริมาณของ active alkali จะมีผลต่อการแยกลิกนินออกจากเยื่อหรือค่าตัวเลขคัปปามากกว่าเวลาที่ใช้ในการต้มเยื่อ จากสภาวะต้มเยื่อที่ใช้ศึกษาพบว่าที่ active alkali 12% เหมาะที่จะให้ผลผลิตเยื่อสูง ส่วนที่ active alkali 16% และ sulfidity 25% เหมาะที่จะใช้ต้มเยื่อฟอกโดยใช้เวลาในการต้มเยื่อเพียง ๘๐ นาที ที่ ๑๗๐ °ซ. อย่างไรก็ตาม ถ้าต้องการจะนำไผ่เพ็ดไปเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษจริง ๆ แล้วควรจะมีการศึกษาเกี่ยวกับสภาวะการต้มเยื่อเพิ่มเติมมากกว่านี้เพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุด สิ่งที่นักอุตสาหกรรมจะต้องศึกษาเพิ่มเติมก็คือปริมาณขี้เถ้าในไผ่เพ็ดมีสูงกว่า ๔% (จากการตรวจเอกสาร) ซึ่งอาจมีผลต่อระบบการนำสารเคมีกลับคืนมาก็ได้

๓. ความยากง่ายในการบดเยื่อ ปริมาณ active alkali มีผลต่อความยากง่ายในการบดเยื่อสูงกว่าเวลาที่ใช้ในการต้มเยื่อ เยื่อที่ผลิตจาก active alkali 16% จะบดหรือใช้พลังงานในการบดตั้งแต่ ๒–๓ เท่าตัว และที่ active alkali 16% การเพิ่มเวลาการต้มเยื่อจาก ๓๐ นาที เป็น ๙๐ นาทีจะทำให้ใช้พลังงานในการบดเยื่อเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้ยืนยันจากตัวเลขคัปปาที่เพิ่มขึ้น

๔. คุณสมบัติของแผ่นเยื่อทดสอบ จากการทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์เบื้องต้น

แผ่นเยื่อจากไผ่เพ็ดได้แก่ น้ำหนักมาตร- ความหนา ความแน่น แรงดึง การ แรงดันทะลุ แรงฉีกขาด และแรง บพบว่าเวลาที่ใช้ต้มเยื่อไม่มีความแตก- ต่างของคุณสมบัติทางฟิสิกส์ดังกล่าว แผ่นเยื่อจาก active alkali 16% มีคุณสมบัติดีกว่า ๑๒% และแผ่นเยื่อจากความอิสระของเยื่อที่ 350 ml CS มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ดีกว่า 500 ml CS.

คำนิยม

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้รับเงินอุดหนุน สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัย รศาสตร์ เลขรหัสโครงการ ป-ม ๒.๓๒ นุพันธ์ เจียรพิพัฒน์พงศ์ ช่วยต้มเยื่อ ทำแผ่นทดลอง และทดสอบแผ่นเยื่อบาง สภาวะ นางสินีพรรณ ไสยลักษณ์ ช่วยวิเคราะห์หาความแตกต่างคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแผ่นเยื่อ

เอกสารอ้างอิง

เรืองพานิช. ๒๕๒๔. ลักษณะทางนิเวศนวิทยาบางประการของหญ้าเพ็ด. ายงานวนศาสตร์วิจัย เล่มที่ ๘๐. หาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. ๑๑ น.

เกียรติกระจาย. ๒๕๓๒. การแยกกนินของไม้สนสามใบ ไม้เลียน และไม้ไผ่รวกโดยวิธีซัลเฟต. วารสารวนศาสตร์ ๘ (๑). ๑๒–๒๗.

Chu, C., N. Niyomwan and A. Puangvichit. 1972. Pulp and paper from bamboo grass. Applied Scientific Research Corporation of Thailand Miscellaneous Investigation No. 64, Bangkok. 4 p.